UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
REVISTA DE INVESTIGACIONES
Versión electrónica ISSN 2077–8686
Versión Impresa ISSN 1997-4035
ARTÍCULO ORIGINAL

Vol. 10 No. 2, pp. 54-71, abril/junio 2021
Recibido 28/01/2021
Aceptado 29/04/2021
Publicado 30/06/2021
DOI: https://doi.org/10.26788/riepg.v10i2.2672

HUELLA HÍDRICA DEL CULTIVO DE KAŇIWA (*Chenopodium pallidicaule Aellen*) EN LAS CUENCAS COATA E ILLPA, PUNO

WATER FOOTPRINT OF KAŇIWA (*Chenopodium pallidicaule Aellen*) CULTIVATION IN THE COATA AND ILLPA BASINS, PUNO

Elisbán Uriel Huanca Quiróz[1], Silverio Apaza Apaza[2], Eduardo Flores Condori[3]

[1]Universidad Nacional del Altiplano de Puno, Facultad de Ciencias Agrarias, Puno, Perú, elisbanhuanca@unap.edu.pe

RESUMEN

En el ámbito de estudio, la kañiwa en grano es relevante como alimento nutracéutico; pero, su cultivo es bajo secano con cosechas no adecuados, así los objetivos planteados fueron: Especificar la evapotranspiración del cultivo de kañiwa (ETc) en tres zonas agroecológicas (ZAE) de las cuencas Coata e Illpa; precisar el rendimiento en grano de distritos de mayor potencialidad de producción; y cuantificar la huella hídrica del cultivo en diferentes ZAE_s de las cuencas. La metodología para el cálculo de ETc fue por Lisimetría, y por los métodos indirectos; la evapotranspiración de referencia fue por los métodos de Penman-Monteith y Hargreaves-Samani de conocimiento universal. La cuantificación de la huella hídrica estuvo de acuerdo al Manual propuesta por Hoekstra en 2011. Siendo las conclusiones: La ETc de kañiwa en la ZAE Suni-altiplano de mayor potencial del cultivo resultó de 513 mm; en cambio, en CIP-ILLPA vía lisímetro NFC fue de 445.3 mm. Con el sistema tradicional el rendimiento en la ZAE Suni-altiplano resultó de 723 kg ha^{-1}; mientras en el lisímetro de 4485 kg ha^{-1}. La huella hídrica verde para las ZAE Circunlacustre, Suni-altiplano y Puna con el método "ETo Penman-Monteith" resultaron de 3,969; 4,359 y 5,329 m^3 kg^{-1} respectivamente. Los rendimientos adecuados con humedad fácilmente disponible en el suelo, corroborarían en la reducción de la huella hídrica verde. En cambio, la huella hídrica azul para el cultivo de kañiwa en grano, fue de 0,993 m^3 kg^{-1} bajo el sistema lisímetro NFC en condiciones sin déficit de humedad.

Palabras clave: Evapotranspiración, huella hídrica, kañiwa, lisímetro, rendimiento.

ABSTRACT

In the study area, kañiwa in grain is relevant as a nutraceutical food; but its cultivation is "under rainfed" with inadequate harvests, thus the objectives were: Specify the evapotranspiration of Kañiwa crop (ETc) in three agroecological zones (ZAE) of the Coata and Illpa basins; the grain yield of districts of greater production potential is specified; and thus, quantify the water footprint of the crop in different ZAEs of the basins. The methodology for the calculation of ETc was by lysimetry and indirect methods; the reference evapotranspiration was carried out by the Penman-Monteith and Hargreaves-Samani methods of universal knowledge. The quantification of the water footprint was systematized by the manual proposed by Hoekstra in 2011. The conclusions were: The ETc of kañiwa in the Suni-altiplano ZAE of higher crop potential resulted in 513 mm; on the other hand, in CIP-ILLPA via NFC lysimeter was 445.3 mm. With the traditional system, the yield in the Suni-altiplano AEZ was 723 kg ha-1; while in the lysimeter it was 4485 kg ha-1. The green water footprint for the circum-lacustrine, Suni-altiplano and semi-humid Puna ZAE with the "ETc Penman-Monteith" method was 3,969; 4,359 and 5,329 m3 kg-1 respectively. Adequate yields with readily available soil moisture would corroborate in the reduction of the green water footprint. In contrast, the blue water footprint for the grain kañiwa crop was 0.993 m3 kg-1 under the NFC lysimeter system under non-moisture deficit conditions.

Keywords: Evapotranspiration, lysimeter, kañiwa, water footprint and yield.

*Autor para correspondencia: elisbanhuanca@unap.edu.pe

Downloadable from : http://revistas.unap.edu.pe/epg
Av. Floral Nº 1153, Ciudad Universitaria, Pabellón de la Escuela de Posgrado, tercer piso oficina de Coordinación de investigación. Teléfono (051) 363543

Revista de Investigaciones de la Escuela de Posgrado - UNA by Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional del Altiplano is licensed under a Creative Commons — Atribución 4.0 Internacional — CC BY 4.0

INTRODUCCIÓN

En la región altiplano de Puno, en las zonas de las cuencas de Coata e Illpa, la kañiwa (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) es un alimento nutracéutico altoandino ancestral. Al respecto, Repo-Carrasco *et al*. (2006) señalan, que la semilla del cultivo tiene un buen contenido de proteínas de calidad (15 a 19 %), minerales (calcio, hierro, fósforo, magnesio), fibra dietética, entre otros. Así, estos granos contienen aproximadamente el doble de lisina y metionina que los cereales como el trigo y otros, a su vez la kañiwa como alimento tiene la ventaja de no poseer saponinas, lo cual facilita su utilización en el consumo y calidad nutricional (Apaza 2010). Sin embargo; en la actualidad la kañiwa es un cultivo bajo "secano", y las precipitaciones pluviales de acuerdo con Salazar *et al*. (2007), en el ámbito de estudio, por su ubicación geográfica, características climáticas y configuración fisiográficas, es cada vez más aleatorio, y propensas a los efectos de los eventos adversos (sequías, heladas, granizadas..) suscitándose indicadores de producción no adecuados (Ramirez *et al*. 2016).

Para una agricultura sostenible, conviene especificar estudios sobre la cuantificación y análisis de las huellas hídricas para una mejor comprensión de la relación del agua con la economía, el desarrollo y los ecosistemas de las cuencas hidrográficas de la región (Hoekstra *et al*. 2011), que puede ser utilizado por un individuo, un cultivo o una región, y que pertenece al grupo de indicadores planteados por la economía ecológica (Rendón 2015). Su importancia en la agricultura está para generar conciencia de dónde y cómo se usa el recurso hídrico, que puede permitir establecer mejores políticas en el uso eficiente del agua y acciones concretas en la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (Arévalo *et al*. 2017).

En el estudio "Huella hídrica de Cultivos Andinos de la Región Puno comercializados en la Región Arequipa" (Vilca 2018), en particular para kañiwa calculó un contenido de agua virtual de 6,906 m^3 kg^{-1}, valor relativamente alto por considerar muy probable en el proceso de obtención de la huella hídrica al agua azul, a pesar de que en la región Puno en la actualidad el cultivo es practicado aún bajo un sistema "secano". De manera similar, Mallma & Mejía (2015) para el cultivo de quinua en la región Junín obtuvo una huella hídrica de 5,690 m^{-3} kg^{-1}, probablemente también consideró al agua azul en la cuantificación. Asimismo, se evaluaron los efectos de la variabilidad climática en el consumo de agua para la producción agrícola de cereales, a través del cálculo de la huella hídrica, metodología que consideró tres escenarios de precipitación: año húmedo, año normal y año seco, y bajo dos condiciones de rendimiento, en tres secciones de la cuenca del río Cachapoal, Chile. La huella hídrica de los cereales, bajo un rendimiento constante, fue mayor en el año húmedo con 1,07 m^3/kg (Novoa *et al*. 2016).

Alvarez *et al*. (2016) señalan, que la huella hídrica verde es el volumen de agua de lluvia

que se almacena en los estratos permeables superficiales y así satisfacer la demanda de la vegetación. En cambio, la huella hídrica azul es el volumen de agua dulce extraído de una fuente superficial o subterránea, consumido para la producción de bienes y servicios, cubriendo una demanda de agua no satisfecha (Tolón *et al.* 2013). Así mismo, la kañiwa, como la quinua son los granos andinos más nutritivos del altiplano Perú- Bolivia, debido a su contenido y calidad proteica, pero es uno de los menos estudiados. "Sin embargo, la quinua ha ganado prominencia en todo el mundo en los últimos años y, de repente, Perú se ha convertido en un actor importante en el mercado mundial" (Bedoya-perales *et al.* 2018). Finalmente es muy probable que la kañiwa en un tiempo no lejano esté en condiciones similares (Guerra 2015).

Si cabe acentuar: La cañahua (*Chenopodiun pallidicaule* Aellen), es un cultivo cuyas características alimenticias son destacables, por ejemplo, se registran contenidos de proteína que van desde los 17 a 19%, se cuenta con una amplia variabilidad genética que le confiere al cultivo grandes posibilidades de usos culinarios e industriales (Mamani 2016). Además, hoy por hoy, las evidencias que se manifiestan de efectos negativos de cambio climático sobre la agricultura son considerables por la mayor aleatoriedad en precipitaciones y temperaturas mínimas. Sin embargo, el grano alto andino es una planta alimenticia adaptable al cambio climático en la región del altiplano de Puno (Benique 2019). Al respecto, Huanca & Quispe (2011) en los primeros experimentos realizados en el CIP-ILLPA-Puno, en particular en kañiwa "Determinación de la evapotranspiración bajo el sistema lisímetro NFC" obtuvieron que la Eficiencia de Uso de agua del cultivo para la producción en grano, fue de 1,18 kg m^{-3}; valor que es coherente por estar en condiciones sin déficit de humedad en la zona de raíces del cultivo.

En la investigación "Aplicación de biol y riego por goteo en diferentes cultivares de cañahua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) en la estación experimental Choquenaira" (UMSA-La Paz); donde los factores en estudio fueron el fertirriego en tres cultivares de cañahua, siendo uno de los variables en consideración el rendimiento; los resultados básicos mostraron, que las familias de la región pueden incrementar sus ingresos económicos con el uso de materiales locales para la obtención de biol, el cual permite obtener mayores rendimientos en menor tiempo (2096,3 kg ha^{-1} en promedio), que sumado la aplicación de riego por goteo se puede alcanzar el uso eficiente del agua de riego que es tan escasa en la Región (Ramirez *et al.* 2016).

Así en el presente estudio los objetivos establecidos fueron: Especificar la evapotranspiración del cultivo de kañiwa (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) mediante métodos ETo Penman-Monteith, Hargreaves-Samani, y Lisímetro NFC en las diferentes zonas agroecológicas de las cuencas Coata e Illpa, Puno; Precisar el rendimiento del cultivo en grano de los distritos de mayor

potencialidad de producción de las cuencas Coata e Illpa, y Cuantificar la huella hídrica del cultivo en diferentes zonas agroecológicas de las cuencas Coata e Illpa.

MÉTODOS

Ámbito o Lugar de Estudio

Las cuencas de los ríos "Coata e Illpa", ámbito base de la investigación en referencia, se ubica en el departamento de Puno, comprendiendo las provincias de Lampa, San Román, Puno y Melgar. Sus límites son: por el Norte con la cuenca Pucará; por el Este con un tramo del Lago Titicaca; por el Sur con la cuenca Ilave y por el Oeste con un tramo del territorio de la cuenca Caplina y Ocoña (Moquegua y Arequipa). Se indica que las cuencas de Coata e Illpa (6417 Km^2) se encuentra en la Región Hidrográfica del Titicaca, y su delimitación está de acuerdo a RM N˚033-2008-AG: Autoridad Nacional del Agua. Según las coordenadas, el ámbito se ubica en: Long. Mín.: 71˚ 01' 11'' Oeste; Long. Máx.: 69˚ 44' 37'' Oeste. Lat. Mín.: 16˚ 00' 22'' Sur; Lat. Máx.: 15˚ 06' 54'' Sur (MINAGRI-ANA 2008).

La localización de la parte experimental (Lisimetría) fue en CIP-ILLPA-UNAP, y está ubicado en el distrito de Paucarcolla, provincia y departamento de Puno. El campo experimental se encuentra a una altitud de 3823 msnm, y su posición geográfica corresponde a 15º 42' 38" Latitud Sur y 70º 04' 54" Longitud Oeste del meridiano de Greenwich; zona agroecológica "Suni altiplano" (Huanca & Quispe, 2011).

De acuerdo al tipo de investigación, como muestra se consideró la serie de datos con que cuenta las Estaciones Meteorológicas de SENAMHI DZ-Puno, ubicadas en las zonas agroecológicas de producción del cultivo de kañiwa, un registro de 22 años últimos (1997-2018). Las Estaciones fueron: Capachica, Puno, Lampa, Juliaca, Cabanillas, Pucará, Mañazo, Pampahuta, Santa Lucía, Laraqueri, Llally, Ayaviri y Chuquibambilla.

Respecto de la información sobre la productividad del cultivo de kañiwa de los diferentes distritos ubicados en las cuencas en estudio, se han considerado para las mismas campañas agrícolas a efectos de correlacionar los valores. Las informaciones se obtuvieron de la Dirección Regional Agraria de Puno (DRA-Puno 2019), siendo los distritos considerados: Capachica, Puno,Coata, Huata, Paucarcolla, Atuncolla, Pusi, Lampa, Cabanilla,, Calapuja, Pucará, Juliaca, Caracoto, Cabana, Cabanillas, Tiquillaca, Vilque, Mañazo,, Caminaca, Palca, Sta Lucía Llally, Ayaviri, Umachiri y Pichacani.

De acuerdo a la problemática planteada en el presente trabajo, el tipo de investigación es Aplicada y de enfoque Cuantitativo. Y en cuanto a los objetivos establecidos, el diseño que corresponde es de una investigación descriptivo, correlacional, explicativo con el fin de intentar determinar las causas y consecuencias del fenómeno de la variación de

evapotranspiración, rendimiento del cultivo y huella hídrica en las diferentes zonas agroecológicas de las cuencas Coata e Illpa. Para ello se emplearon métodos como es observacional, correlacional y experimental (Hernández *et al*. 2014).

Descripción de Métodos

Los cálculos de la evapotranspiración del cultivo de kañiwa

Por métodos indirectos fue de acuerdo a la información meteorológica siguientes: Temperatura, Humedad relativa, Velocidad del viento y Hr-sol. Fue necesario el equipo de cómputo y Software como: Excel, Cropwat 8, SPSS, Hidroesta. Luego, para estimar la evapotranspiración del cultivo (ETc) (Allen *et al*. 2006; Vasquez *et al*. 2017) se utilizó la siguiente ecuación:

$$ETc = Kc * ET_O$$

Donde: Kc = Coeficiente del cultivo.

ETc = Evapotranspiración del cultivo de referencia.

El Cálculo de la evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo), se ha procedido en base a las informaciones meteorológicas mensuales de la campaña agrícola del cultivo de kañiwa, y de acuerdo a la metodología de FAO Penman-Monteith y Hargreaves-Samani, que es de conocimiento universal. En tanto, en la obtención del Coeficiente único del cultivo (Kc) fue de acuerdo al procedimiento FAO (Allen *et al*. 2006).

Se indica, que a efectos de cuantificar la huella hídrica del cultivo, en todo el procesado fue vía programa Cropwat 8,0 y excel para así obtener la evapotranspiración de agua verde (ETv), y evapotranspiración de agua azul (ETa) (Onyancha & Gachene 2017). Luego, por practicarse en todas las zonas el cultivo de kañiwa bajo un sistema tradicional y eminentemente pluvial, no se consideró en el requerimiento de agua lo que es agua gris, sólo agua verde (RACv) para agricultura pluvial y agua azul para el sistema lisimetría (experimento bajo riego).

En las cuencas de Coata, Illpa y cuencas colindantes de apoyo, en los meses de la campaña agrícola del cultivo de kañiwa (octubre-marzo) se produce un gradiente de

disminución de temperatura mínima de 1,24 ˚C por cada 100 m de desnivel. Así, el mes de octubre es el de menor temperatura baja en promedio (0,3 ˚C), temporada en el que se inicia la siembra del cultivo en algunas localidades lo que limitaría en el establecimiento y desarrollo adecuado del citado cultivo.

En cuanto de la información de horas-sol que se obtuvieron sólo de cinco estaciones meteorológicas, para los restantes fueron completados vía tratamiento estadístico de regresión con altitud (Allen *et al.* 2006). Al respecto Grossi & Righini (2002), mencionan que "en variadas circunstancias y a fin de salvar este inconveniente existe reportes de investigación de la dependencia de la heliofanía efectiva con la altura (msnm) sino es para todos los meses del año con efectividad". Así, en el ámbito de estudio realizado para los meses de la campaña agrícola de kañiwa los resultados fueron aceptables al menos a efectos de estimar la evapotranspiración de referencia. El valor promedio para la campaña agrícola fue de 6,9 horas-sol, y para los meses de octubre y noviembre 8,3 horas-sol.

El régimen de las precipitaciones pluviales en las cuencas de Coata e Illpa reviste gran importancia, por cuanto en la actualidad casi toda la producción agrícola en sus zonas es bajo secano. La precipitación total promedio anual es de 742,5 mm, y para la campaña agrícola de 649,1 mm. El valor indicado aparentemente cubriría la demanda; sin embargo, la precipitación efectiva de distribución irregular nunca es acorde a las necesidades de las fases fenológicas de los cultivos; así en los meses de octubre y noviembre son de menor magnitud (47,6 y 54,5 mm respectivamente) siendo meses de siembra de los cultivos de granos andinos, de ahí la necesidad de funcionamiento de las irrigaciones. Aquí cabe señalar, la influencia de altitud de manera directa en la mayor presentación de las precipitaciones (en cabeceras de cuencas), donde la práctica de la siembra y cosecha de agua a todo nivel es urgente para así aprovechar luego en forma de agua azul (en irrigaciones y otros usos).

En lo referente a las zonas agroecológicas, de acuerdo con Tapia (2013) y Apaza *et al.* (2020), en la subregión altiplano-Puno, se distinguen las diferentes zonas agroecológicas (ZAE) según la altitud, exposición y el índice de precipitación, que determinará el uso de la tierra, el empleo de diferentes cultivos, tipo de crianzas, así como especies forestales. En efecto, para el trabajo se ha considerado las zonas de producción diferenciados en bloques (conjunto de distritos) para el cultivo de kañiwa en las cuencas de Coata, Illpa y cuencas de apoyo, en función estricta a la mayor cantidad de superficie del cultivo, altitud (msnm), y clima (T˚ y pp) principalmente. Así, las Zonas Agroecológicas I, II y III son Circunlacustre, Suni altiplano, y Puna semihúmeda, respectivamente.

Para determinar la ETc de kañiwa a nivel experimental, se utilizó el lisímetro de tipo nivel freático constante (NFC) instalado en CIP-ILLPA-UNA, así en el tanque de cultivo se dispuso de un techo móvil de agrofilm (250 micras), con el propósito de proteger de las

precipitaciones pluviales para que ésta no se considere en el balance hídrico del sistema. La obtención de ETc en función al tiempo, fue "in situ" por las lecturas en el limnímetro; y el suceso de las fases fenológicas del cultivo fue vía observación directa verificando los cambios anatómicos, morfológicos de las plantas en la parcela experimental.

En la precisión del "rendimiento del cultivo de kañiwa"

Los materiales e instrumentos empleados fueron: Registro de producción del cultivo de kañiwa de los distritos de las cuencas Coata e Illpa: Serie histórica 1997/2018 (DRA-Puno 2019). Fue necesario el equipo de cómputo, lisímetro NFC y el Software (Excel, SPSS). El análisis de informaciones del rendimiento del cultivo en el escenario de las diferentes zonas agroecológicas elegidas (Circunlacustre, Suni altiplánica y Puna semihúmeda) fue para ver la variación y tendencias a ocurrir en las cuencas hidrográficas de Coata e Illpa.

En la "Cuantificación de la huella hídrica del cultivo de kañiwa"

Los materiales e instrumentos empleados fueron: Registro de resultados del procesado de evapotranspiración, requerimiento de agua del cultivo de kañiwa de las diferentes zonas agroecológicas de las cuencas Coata e Illpa, y el registro de información de rendimiento del cultivo analizada en función al área a nivel distrital. Además, el equipo de cómputo y el Software para el modelo de evaluación de HH agrícola optado fueron: Cropwat 8,0; Hidroesta, Excel y SPSS.

El método para cuantificar la HH fue de acuerdo al Manual de evaluación de la huella hídrica agropecuaria propuesta por Hoekstra *et al.* (2011); la huella hídrica verde se refiere al volumen de agua de lluvia consumida durante el proceso de producción. Esto es particularmente relevante para los productos agrícolas de las zonas en estudio por ser de una agricultura de "secano" (sistema tradicional). En cambio, para la situación experimental de lisimetría (cultivo bajo riego) en CIP-ILLPA está considerado como huella hídrica azul, que hace referencia al uso consuntivo del agua de riego, proveniente de fuente de agua de origen subterráneo, para el caso manantial (ecuación 1):

$$HH = RAC / Y \quad (1)$$

Donde:

$HH_{green\ o\ blue}$: huella hídrica verde o azul ($m^3\ kg^{-1}$).

RAC : componente verde o azul en el uso del agua ($m^3\ ha^{-1}$).

Y : rendimiento del cultivo ($kg\ ha^{-1}$).

La secuencia a seguir de acuerdo al Manual de evaluación de la huella hídrica (Hoekstra *et al*. 2011), es de importancia en la actualidad, definiendo como una norma global en el entendido que tales indicadores son de impacto en el uso del agua en la agricultura, y para los de la gestión del agua en la Región Puno; es más, es de necesidad urgente diseñar políticas adecuadas para el uso eficiente del agua en los cultivos.

Los análisis estadísticos para el trabajo de investigación fueron de acuerdo a los objetivos establecidos, siendo principalmente la estadística descriptiva (prom., σ, CV) en todo el procesado del trabajo, y la estadística inferencial en: Prueba de bondad de ajuste de registro de datos hidrometeorológicos (Smirnov-Kolmogorov), prueba "t" (α=0,05) en la verificación de las hipótesis planteadas en ETc, rendimientos del cultivo y huella hídrica entre zonas agroecológicas, y regresión no lineal entre HH = f(altitud; Rdto., Precipitación efectiva) con sus coeficientes respectivos (R^2, R).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cálculo de la evapotranspiración del cultivo de kañiwa (ETc) y requerimiento de agua (RAC: ETv; ETa) por métodos indirectos

A continuación, se está mostrado los resultados de la evapotranspiración para el cultivo de kañiwa, siendo los promedios para el período vegetativo (PV) y para las zonas Circunlacustre, Suni altiplánica y Puna semihúmeda de 557, 513 y 492 mm PV^{-1} respectivamente. La presentación de un gradiente de evapotranspiración descendente en la subregión es probable por la variación de altitud y la funcionalidad con rigor de términos de energía (Radiación solar, temperatura) en el desarrollo del cultivo. Efectuado la prueba de bondad de ajuste para comprobar estadísticamente si la Serie hidrológica se ajusta a la función de probabilidad teórica de Distribución Normal, y por las características de la variable como es evapotranspiración, se realizó la prueba de acuerdo a Smirnov-Kolmogorov (Moraguez *et al*. 2015; Villón 2016), luego ($\Delta_{teórico}$ 0,1326 <

Δ_t 0,3772) los datos se ajustan a la Distribución Normal (α=0,05) (Tabla 1).

Tabla 1. Evapotranspiración (ETc) y requerimiento de agua del cultivo de kañiwa (RACv; RACa), para las estaciones de cuencas Coata e Illpa (ETo mét. Penman-Monteith).

ESTACION METEOR.	ETc	ETc : ZAE	PE (*)	ETv	ETa	RACv
	mm/P V	mm/P V	mm/PV	mm/P V	mm/P V	m3/ha
Capachica	553,9		342,6	306,7	248,2	3067
Puno	560,3	I = 557,1	346,8	304,2	257	3042
Juliaca	535,8		275,5	275,5	260,3	2755
Pucará	502,6		332	327,6	174,9	3276
Cabanillas	519,2		336,9	336,8	182,1	3368
Lampa	497,3		363,5	356,1	141,3	3561
Mañazo	509,4	II = 512,9	325,3	324,8	184,2	3248
Ayaviri	500,1		359	355,9	144	3559
Chuquibambilla	488,2		385,5	373,5	114,7	3735
Laraqueri	510,7		388,2	375,9	134,7	3759
Llally	509,4		424,2	402,1	107,2	4021
Pampahuta	439,5		342	332,1	107,5	3321
Santa Lucía	502,6	III = 491,8	385,1	380,6	122,2	3806

(*): Precipitación efectiva (mét. Ecuación FAO/AGLW); PV: período vegetativo del cultivo
ETv: Evapotranspiración agua verde; ETa: evapotranspiración agua azul

En cuanto de la hipótesis planteada, "La evapotranspiración del cultivo de kañiwa calculada mediante diferentes métodos, varía de acuerdo a las zonas agroecológicas de las cuencas de Coata e Illpa", y para verificar tal posibilidad se realizó la prueba "t" en la comparación de medias de ETc (mét. ETo Penman-Monteith). Los resultados entre las zonas agroecológicas (ZAE) estadísticamente fue lo siguiente: entre ZAE I & II y I & III ($t_c > t_t$), se acepta la hipótesis planteada (α=0,05). En tanto, entre ZAE II & III ($t_c < t_t$) se rechaza la hipótesis planteada (α=0,05). En consecuencia, la ETc de kañiwa varía de acuerdo a las zonas agroecológicas de las cuencas Coata e Illpa, con un gradiente negativo en función a la altitud, excepto entre ZAE II y III estadísticamente.

En lo que se refiere de la evapotranspiración de agua verde (ETv) y evapotranspiración de agua azul (ETa) en el cultivo de kañiwa en las cuencas indicadas son de 342,4 y 167,6 mm PV^{-1} respectivamente. La cantidad de agua verde evapotranspirada es proveída de la precipitación efectiva (PE) que se presenta en las zonas; que por su gran aleatoriedad en el espacio y en el tiempo afectan en las cosechas esperadas del cultivo ya sea en rendimientos y calidad física adecuada del producto.

En cuanto de la cantidad necesaria de agua azul en los primeros estadios del cultivo (octubre noviembre), si bien la cuantía es relativamente menor; sin embargo, la oportunidad podría ser clave en el momento de establecimiento ya que

en muchas oportunidades se han fracasado en la germinación de kañiwa, y han sido re-sembradas las parcelas, pero para forrajes (Mamani 2016). Luego, implementar una agricultura de riego localizado complementario al cultivo de kañiwa en Puno sería una alternativa viable, por cuanto al respecto ya se ha iniciado algunos trabajos de investigación (Ramirez *et al*. 2016).

En cambio, la evapotranspiración del cultivo de kañiwa (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) variedad "ILLPA-INIA 406" en las condiciones de CIP-Illpa-Puno (PV: 146 días), alcanzó 445,3 mm de lámina de agua, bajo el sistema lisímetro NFC. La evapotranspiración (3,05 mm/día de promedio) obtenido en el experimento en referencia puede considerarse de confiabilidad, no solo por el carácter de conducción adecuada del cultivo, sino también por integrar "in situ" las condiciones locales reales de todos los factores influyentes en la evapotranspiración del cultivo.

Rendimiento del cultivo de kañiwa en grano

De acuerdo a la Serie histórica de campañas agrícolas de 1996/97-2017/18 bajo régimen pluvial, la mayor área cosechada está en el distrito de Lampa (311,3 ha) y el menor es para Capachica (7,23 ha). Tal como está mostrado en la figura 1, la mayor superficie cosechada se encuentra en la zona "Suni altiplánica" con 1305,4 ha (75 %), seguido por la zona Puna semihúmeda con 242 ha (14 %) y zona Circunlacustre con 187,6 ha (11 %). Los cuales se atribuye al hábito de priorización de cultivos, clima, ataque ornitológico, características edafológicas, entre otros. Así pues, las zonas de condiciones similares a los de Lampa, Cabana, Mañazo, presentan gran potencialidad en la producción del grano andino como es la kañiwa (Figura 1).

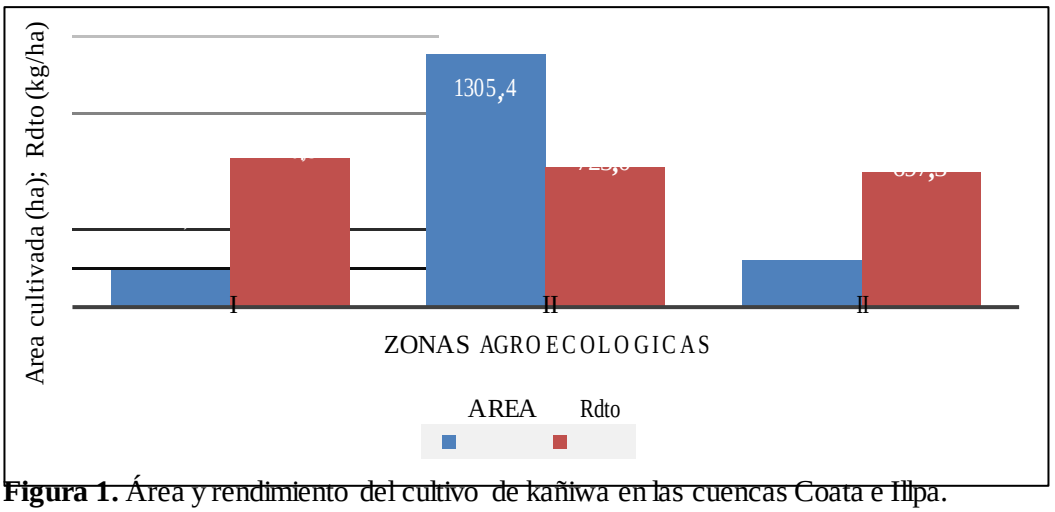

Figura 1. Área y rendimiento del cultivo de kañiwa en las cuencas Coata e Illpa.

En cuanto de los rendimientos por unidad de superficie, el valor promedio para los distritos considerados es de 730,2 kg ha^{-1}, siendo la variación espacial de 621,9 (Palca) a 818,8 kg ha^{-1} (Mañazo). Precisando por zonas agroecológicas, la mayor productividad fue para la zona Circunlacustre con 770,9 kg ha^{-1} y, para las zonas Suni altiplánica y Puna semihúmeda los rendimientos fueron de 723 y 697,3 kg ha^{-1} respectivamente. Cabe indicar, que la información mostrada está basada de lo obtenido de las estadísticas de la DRA-Puno (2019), referidas en si a sistemas de producción con tecnología tradicional; es decir tecnología de los pequeños agricultores dirigidos a consumo familiar, para semilla y en menor proporción para su comercialización.

Realizado una Prueba "t" de comparación de rendimientos del cultivo, entre diferentes zonas agroecológicas de las cuencas de Coata e Illpa, estadísticamente (α=0,05) fueron: entre ZAE I & II y I & III ($t_c > t_t$), se acepta la hipótesis planteada. En tanto, entre ZAE II & III ($t_c < t_t$) se acepta la hipótesis nula. En consecuencia, el rendimiento de kañiwa varía de acuerdo a las zonas agroecológicas de las cuencas Coata e Illpa, con un gradiente negativo en función a la altitud.

De acuerdo con especialistas se atina que el cultivo de kañiwa su proceso de cultivo aún no es completo (debilidad a deshicencia), es un producto apto para los pisos ecológicos del altiplano entre 3850 a 4400 msnm (ZAE Suni altiplano y Puna); es muy resistente a las heladas y sequías como pocos cultivos, y gracias a esta resistencia múltiple, se usa principalmente como alimento de gran valor nutricional y seguro en cosechas para las comunidades del altiplano peruano-boliviano, de ahí la necesidad de re-valoración del grano como alimento para sobrevivir (Callohuanca *et al.* 2019; Mamani 2016).

Reportes desde Bolivia se tiene también, que los agricultores cosechan y logran obtener en promedio 550 kg ha^{-1}, en otras zonas cosechan 750 kg ha^{-1}, estos resultados son de campo a nivel agricultor con manejo tradicional. Mientras se informa en las parcelas donde se realizan investigaciones con diferentes fines hasta 3000 kg ha^{-1}. Los rendimientos adecuados son posibles de lograr con la aplicación de técnicas y prácticas mejoradas a nivel agricultor y con la atención necesaria del uso de tecnología adecuada, como resultado de las investigaciones académicas (Mamani 2016). En tanto, en Puno para el sistema con "tecnología intermedia" se logró una productividad de alrededor 1375 kg ha^{-1} (Tapia 2017).

En cambio, el rendimiento obtenido a nivel experimental en CIP-ILLPA, el cultivo de kañiwa variedad "ILLPA-INIA-406" bajo condiciones de lisímetro NFC deducido a kg ha^{-1} fue de 4485, valor que es superior a otros resultados que se reportan a nivel experimental en la región Puno como es de 3,5 t ha^{-1} (Condori 1970, citado por Callohuanca *et al.* 2019). El logro de un rendimiento relativamente mayor en el sistema lisímetro, se atribuye a que las condiciones del tiempo fueron favorables en la

campaña agrícola (2010/2011), como también el aprovisionamiento adecuado de humedad en la zona radicular de las plantas (≈ a capacidad de campo); es decir, las condiciones favorables que se dio en el proceso de cultivo en el sistema. Se colige que la potencialidad es aún mayor.

Cuantificación de la huella hídrica del cultivo de kañiwa

A continuación se presenta los resultados de los cálculos correspondientes a la huella hídrica del cultivo (HH de acuerdo a ETo P-M y H-S), y se señala que en lo espacial para las cuencas Coata e Illpa los valores de huella hídrica (ETo P-M) del cultivo de kañiwa en grano de mayor a menor fueron para los distritos de Santa Lucía y Capachica con 5,95 y 3,85 m^3 kg^{-1} respectivamente. El promedio general de 4,483 m^3 kg^{-1} valor relativamente mayor, es atribuible con seguridad por los rendimientos menores del cultivo; y ello entre otros factores, es por las precipitaciones pluviales no acorde a las necesidades hídricas de las fases fenológicas del cultivo. Al respecto, ANA-WWF-PERÚ (2015) para Puno en sus resultados de huellas hídricas sectoriales obtuvo para el cultivo de quinua un valor de 3,65 m^3 kg^{-1} relativamente menor, imputable a los rendimientos mayores considerados (Tabla 2).

Realizado una prueba de bondad de ajuste de huella hídrica verde del cultivo de kañiwa (Smirnov-Kolmogorov) en los distritos de cuencas de Coata e Illpa, donde el $\Delta_{teórico}$ es menor a $\Delta_{tabular}$; por lo que de acuerdo a los resultados se ajustan a la distribución normal (α=0,05). En lo concerniente a la hipótesis planteada, "La huella hídrica del cultivo de kañiwa en grano, varía de acuerdo a las zonas agroecológicas de las cuencas de Coata e Illpa", a efectos de reafirmar tal posibilidad se realizó la prueba "t" en la comparación de medias de la variación de huella hídrica verde de la producción de kañiwa en grano en el ámbito en referencia. Los resultados entre las zonas agroecológicas (ZAE) estadísticamente (α=0,05) se reafirma la hipótesis planteada (Tabla 2).

Tabla 2. Huella hídrica verde del cultivo de kañiwa en los distritos de las cuencas Coata e Illpa; ETo f (Penman-Monteith y Hargreaves-Samani). Serie histórica 1997-2018.

		ETo Penman-Monteith		ETo Hargreaves-Samani	
Distrito	**Rdto**	**H-H**	**Prom. ZAE**	**H-H**	**Prom. ZAE**
	(kg/ha)	(m3/kg)	(m3/kg)	(m3/kg)	(m3/kg)
Coata (I)	763,4	4,017		3,965	
Puno	783,6	3,882		3,881	
Atuncolla	777,1	3,915		3,914	
Pusi	716,0	4,283	3,97	4,227	3,94
Paucarcolla	772,0	3,940		3,939	
Huata	786,3	3,901		3,850	
Capachica	797,6	3,845		3,795	
Juliaca (II)	664,7	4,144		4,144	
Caracoto	707,0	3,897		3,897	
Caminaca	703,1	3,919		3,919	
Calapuja	695,4	3,962		3,962	
Vilque	809,9	4,010		4,014	
Pucara	751,7	4,358	4,36	5,771	4,85
Cabanilla	679,6	4,956		6,469	
Cabanillas	684,4	4,921		6,423	
Tiquillaca	755,5	4,299		4,303	
Lampa	677,8	5,254		5,295	
Cabana	728,5	4,623		6,034	
Mañazo	818,8	3,967		3,970	
Ayaviri (III)	728,5	4,886		4,898	
Umachiri	733,9	5,089		5,108	
Pichacani	768,2	4,894	5,33	5,022	5,38
Llalli	691,7	5,813		5,881	
Palca	621,9	5,340		5,383	
Santa lucia	639,4	5,953		5,995	

En los sistemas de cultivo tradicional practicado en las cuencas de Coata e Illpa se han considerado en el tipo de huella hídrica verde; es decir el volumen de agua evapotranspirada desde los recursos globales de agua verde, principalmente agua de lluvia almacenada en el suelo agrícola en forma de humedad durante el período de crecimiento de los cultivos (Hoekstra *et al*. 2011).

Sobre el particular, la variación de la huella hídrica del cultivo en los diferentes ámbitos agroecológicos que se consideraron en el presente estudio, como entre las zonas Circunlacustre, Suni altiplánica y Puna

semihúmeda; los valores promedio fueron de 3,97; 4,36 y 5,33 m^3 kg^{-1} respectivamente (Hoekstra *et al*. 2011). Tal variación de la huella hídrica de menor a mayor en las ZAE como se, es también, por la variación de los rendimientos del cultivo de manera inversa, que están en función de los factores básicos de producción como es clima, genética, suelo, y la tecnología practicada. Con seguridad la prospectiva sería mejorar los rendimientos para así reducir el indicador medioambiental en todas las zonas agroecológicas (Hoekstra *et al*. 2011).

Huella hídrica azul en el cultivo de kañiwa

Considerando un consumo de agua de riego (RAC_{azul}) de 445.3 mm PV^{-1}, y haber obtenido 4485 kg ha^{-1} de rendimiento en grano, la huella hídrica azul correspondiente fue de 0,993 m^3 kg^{-1}, valor muy bueno al momento, comparado con otros sistemas de producción a nivel cuencas consideradas. El resultado puede ser referente, en tanto se mejore los niveles de producción, productividad y calidad del producto (producción orgánica) mejor aún en irrigaciones, sugiriéndose entonces la instalación de cultivos con riego localizado en las condiciones de zonas de gran potencialidad del cultivo de kañiwa como es en las zonas agroecológica "Suni altiplánica" de región Puno.

Conviene señalar, que de las diferentes zonas de producción de kañiwa en grano en las cuencas de Coata e Illpa, en la zona agroecológica "Suni altiplánica" están las localidades de gran potencialidad de producción (DRA-Puno 2019), ya sea por mayores áreas cosechadas (75% del ámbito) y rendimientos del cultivo relativamente aceptables; por citar algunos distritos como es: Lampa, Juliaca, Cabana, Mañazo, Cabanillas, Cabanilla, Vilque, entre otros.

De acuerdo a tabla 2, considerando la HH = f (Rdto del cultivo), la ecuación es el siguiente:

$$HH(Lkg^{-1}) = 4E{+}11(\text{Rdto: } kgha^{-1})^{-2,77},$$

donde la pendiente negativo ratifica la relación inversa entre las dos variables, siendo la alternativa a priorizar para reducir la HH_V mejorar los rendimientos del cultivo en unidad de superficie. Aquí el grado de explicación de la variable rendimiento hacia HH es de un 87% coeficiente de alta confiabilidad. Casi en todas las zonas de producción, al momento las prácticas agrícolas en el cultivo de kañiwa son poco eficientes, por lo que mejorar la producción y productividad es un reto. En cambio, considerando HH = f(altitud), la ecuación obtenida fue: $HH(Lkg^{-1}) = 1E - 32(\text{altitud;msnm})^{9,94}$ con pendiente positivo, es decir a mayor altitud mayor huella hídrica. En suma, en las zonas altas, la mejora de sistemas de cultivo, incluido el factor suelo serían las alternativas de respuesta en la reducción de la huella hídrica.

Generalizando, en las cuencas de Coata y Illpa al margen de la irregularidad de ocurrencia de las precipitaciones, una tecnología adecuada son factores clave que aseguraría la reducción de la huella hídrica verde en el futuro. Es decir,

la implementación de sistemas de riego localizado, la práctica de una agricultura orgánica sostenible, selección de ecotipos apropiados a las condiciones locales, un manejo integral de cuencas hidrográficas son recomendaciones como estrategias de respuesta.

CONCLUSIONES

La evapotranspiración del cultivo de kañiwa por métodos indirectos, para las ZAE: Circunlacustre (I), Suni-altiplano (II) y Puna (III) de las Cuencas de Coata e Illpa, por el método de ETo Penman-Monteith fueron de 557, 513 y 492 mm respectivamente. Realizado una prueba de comparación de medias con el de método de Hargreaves-Samani se acepta la hipótesis alterna (α=0,05). En cambio, la ETc Var. "ILLPA-INIA 406" por el método de lisímetro NFC en CIP-ILLPA fue de 445 mm y con el sistema tradicional, los rendimientos del cultivo de kañiwa en grano para las ZAE I, II y III fueron de: 771, 723, y 697 kg ha^{-1} respectivamente. En la variación de rendimientos en ZAE_s, basado en la prueba "t" de comparación de medias se acepta la hipótesis planteada (α=0,05). Sin embargo, el rendimiento en el sistema lisímetro NFC fue de 4485 kg ha^{-1}, en especial por la dotación adecuada de agua de riego. La variación de huella hídrica verde para las ZAE_s I, II y III, para con el método "ETo Penman-Monteith" fueron de 3,97; 4,36 y 5,33 m^3 kg^{-1} respectivamente. Realizado la prueba "t" en la comparación de medias, la huella hídrica en las ZAE_s es diferente (α=0,05), y se cumple la hipótesis planteada. En cambio, la huella hídrica azul para el cultivo de kañiwa en grano Var. "ILLPA-INIA-406" a nivel experimental conducido en CIP-ILLPA, fue de 0,993 m^3 kg^{-1} bajo el sistema lisímetro NFC en condiciones sin déficit de humedad del suelo.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional del Altiplano Puno, Facultad de Ciencias Agrarias, Programa Académico de Ingeniería Agronómica; Facultad de Ingeniería Agrícola; a la Escuela de Posgrado-UNA, Programa de Doctorado en Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, por haber brindado formación y las facilidades para que el presente trabajo se culminara. Muchas gracias.

CONFLICTO DE INTERÉS

El autor y coautores, no tienen conflicto de interés de ninguna índole.

REFERENCIAS

Allen R., Pereira L., Raes D. & Smith M. 2006. Evapotranspiración del cultivo. In *Estudio FAO Riego y Drenaje 56*. 258 pp. http://www.fao.org/3/a-x0490s.pdf

Alvarez A., Morábito J. & Schilardi C. 2016. Green and blue water footprint of corn (*Zea mayz*)

production in central and northeastern provinces of argentina. Title. *Rev. FCA UNCUYO, 48 (1)*, : 161-17. http://revistas.uncuyo.edu.ar/ojs/index.php/RFCA/article/view/3230/2343

ANA-WWF-PERÚ. 2015. Huella Hídrica del Perú Sector Agropecuario-Perú.115 pp. https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/197

Apaza S., Huanca E. & Apaza C. 2020. Densidad poblacional, grados de infestación e influencia de factores edafoclimáticos en la infestación de Nacobbus spp. y Globodera spp. en papa (Solanum spp.) de Puno. *Polo Del Conocimiento*, *5*. file:///C:/Users/hp/Downloads/2066-11292-2-PB.pdf

Apaza V. 2010. Manejo y mejoramiento de kañiwa. *INIA- Puno & CIRNMA*. 76 pp. http://www.nuscommunity.org/uploads/tx_news/Libro_Manejo_y_Mejoramiento_Kañiwa.pdf

Arévalo D., Zárate E., Fernández A., Kuiper D. & Moreira D. 2017. Guía metodológica para la evaluación de la huella hídrica en una cuenca hidrográfica *GSI-EUROCLIMA-IICA*. Editorial: R. Cascante. 54 pp. https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/2996/BVE17068913e.pdf;jsessionid=6261D01223118777748A8C1310A81501A?sequence=1

Bedoya-perales N., Mujica A., Talamini E., Pumi G., Padula A., & Alegre P. 2018. Quinoa Expansion in Peru and Its Implications for Land Use Management. *Sustainability - MDPI*, *i*. https://doi.org/10.3390/su10020532

Benique, E. (2019). Impacto del cambio climático en el rendimiento de la producción de cañihua (Chenopodium pallidicaule Aellen) en la Región - Puno. *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, *21*(2), 100–110. https://doi.org/10.18271/ria.2019.454

Callohuanca A., Mamani E., Quispe A., & Yucra M. 2019. Cañihua *(Chenopodium pallidicaule* Aellen) alimento funcional. *UNA-Puno*. ed. Primero. http://isbn.bnp.gob.pe/catalogo.php?mode=detalle&nt=108539

DRA-Puno. 2019. Serie histórica de producción agrícola. https://www.agropuno.gob.pe/informacion-estadistica/estadistica-agricola/

Grossi H. & Righini R. 2002. Acerca de la distribución de la heliofanía. *Avances En Energías Renovables y Medio Ambiente*, *6*(0329–5184), 37–41.

Guerra E. 2015. Efectos de la variabilidad climática en la producción de cultivos bajo riego complementario en el altiplano del Perú. Universidad Nacional del Altiplano, EPG. http://tesis.unap.edu.pe/handle/UNAP/434

Hernández R., Fernández C. & Baptista P. 2014. Metodología de la Investigación (S. A. D. C. V). McGRAW-HILL / Interamericana editores. ed. Sexta). https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf

Hoekstra A., Chapagain A., Aldaya M. & Mekonnen M. 2011. The Water Footprint Assessment. https://waterfootprint.org/media/downloads/TheWaterFootprintAssessmentManual_2.pdf

Huanca E. & Quispe E. 2011. Determinación de ET y eficiencias de uso del agua en el cultivo de cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen). *Revista Ciencias Agrarias, UNA-PUNO, 1*(2225–5176), (5) 13-21.

Mallma T. & Mejía J. 2015. Huella hídrica de productos agrícolas producidos en la sierra central y comercializados en Lima. *Apuntes de Ciencia & Sociedad, 05*(01), 128–134. https://doi.org/10.18259/acs.2015020

Mamani F. 2016. Estado de arte del cultivo de cañahua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) en Bolivia. *Congreso, Memoria: Saberes y Conocimientos en Cañahua-Bolivia, 1*, 17–22. http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=cidab.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=021413

MINAGRI-ANA. 2008. Delimitación y Codificación de Unidades Hidrográficas del Perú, *ANA*. 38 pp. https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/1880

Moraguez A., E. M. y G. A. 2015. La prueba de hipótesis Kolmogorov-Smirnov para dos muestras pequeñas. *1*(ISSN 1814-151X), 78–90. https://luz.uho.edu.cu/index.php/luz/article/view/686/579

Novoa V., Rojas O., Arumí J., Ulloa C., Urrutia R. & Rudolph A. 2016. Variabilidad de la huella hídrica del cultivo de cereales, río Cachapoal, Chile. *Tecnologia y Ciencias del Agua*, *7*(2), 35–50. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-24222016000200035&script=sci_abstract&tlng=pt

Onyancha D. & Gachene C. 2017. FAO-Cropwat model-based estimation of the crop water requirement. *Research Journali´s Journal of Ecology, April 2018*.

Ramirez D., Chipana R. & Echenique M. 2016. Aplicación de biol y riego por goteo en diferentes cultivares de cañahua. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales, La Paz.*, *3*, 30–38. http://www.scielo.org.bo/pdf/riiarn/v3n1/v3n1_a05.pdf

Rendón E. 2015. La huella hídrica como un indicador de sustentabilidad y su aplicación en el Perú.

Vol. 2. https://core.ac.uk/download/pdf/143615435.pdf

Repo-Carrasco R., Espinoza C. & Jacobsen E. 2006. Nutritional Value and Use of the Andean Crops Quinoa (Chenopodium quinoa) and Kañiwa (Chenopodium pallidicaule). In *Food Reviews International*.Vol. 19, Issue 1. https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1081/FRI-120018884

Salazar L., Aguirre M., Leandro V. & Velásquez O. 2007. Evaluación de los recursos hídricos de las cuencas Cabanilla y Lampa. https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/1830

Tapia M. 2013. Diagnóstico de los ecosistemas de montañas en el Perú. 60 pp. http://www.fao.org/fileadmin/templates/mountain_partnership/doc/TCP_Andes/DiagnosticoPeruVersion_2_de_sept-_1-55.pdf

Tapia M. 2017. Industrializacion de la kañihua en el Centro Promotor de La Industrialización de la Kañiwa. *Universidad Global, 01*, 54. http://repositorio.ugloba l.edu.pe/bitstream/ugloba l/19/3/Industrializacion de la Kanihua.pdf

Tolón A., Lastra X. & Fernandés V. 2013. Water footprint and sustainability of water resources use. *Moa*, 56–86. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4814567

Vasquez A., Vasquez I., Vasquez C. & Cañamero M. 2017. Fundamentos de la Ingeniería de Riegos. In Primera Ed., *UNALM* .Vol. 1. https://www.hidrosm.com/2018/05/fundamentos-de-la-ingenieria-de-riegos.html

Vilca J. & Araníbar M. 2018. Huella hídrica de cultivos andinos de la Región Puno comercializados en la Región Arequipa. *Riepg*. http://revistas.unap.edu.pe/epg/index.php/investigaciones/article/view/1310

Villón M. 2016. Hidrología estadística. UNALM-CENIDA.5ª ed. 436 pp. http://maximovillon.blogspot.com/p/hidrologia-estadistica.html